



A Heuristic Method for Analysis of Assembly Line Based on Simulation and DOE

H Hosseini Nasab, V. Mahdavi Asl & M.S. Fallah Nezhad*

Hassan Hosseini Nasab, Associate Professor, Yazd University, Iran

Vahid Mahdavi Asl, MSc Yazd University, Iran

Mohammad Saber Fallah Nezhad, Assistant Prof, Yazd University, Iran

Keywords

Discrete-event simulation,
Design of experiments,
Analysis of variance,
Assembly line balancing

ABSTRACT

A heuristic method based on simulation and design of experiments for performance improvement of assembly line is presented in this paper. In the proposed method, all effective factors on the performance of an assembly line are specified using the expert's point of view and then a 2k factorial design is used for the selection of the most effective factors. Also a factorial design is applied for assessment of interaction among important factors and comparison of different levels. A simulation method is employed for evaluating the performance of proposed alternatives instead of using real case. A straightforward assembly line analysis is presented and exemplified in this work by extracting and analyzing effective factors of an auto light company. Number of workstations, operators and speed of machines are chosen as the main factors. Next to the identification of different levels using factorial design, the method showed significant improvement on the assembly line of auto light company..

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 2, All Rights Reserved

*
Corresponding author. Mohammad Saber Fallah Nezhad
Email: fallahnezhad@yazduni.ac.ir



یک روش ابتکاری برای تجزیه و تحلیل خط مونتاژ بر مبنای شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها

حسن حسینی نسب، وحید مهدوی اصل و محمد صابر فلاح نژاد*

چکیده:

در این مقاله یک روش ابتکاری بر مبنای شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها برای بهبود عملکرد خط مونتاژ معرفی شده است. روش معرفی شده تمام عوامل تاثیرگذار بر عملکرد خط مونتاژ را با استفاده از نظر افراد خبره و کارشناسان شناسایی نموده سپس یک طرح عاملی^۱ برای غربال نظرات و یافتن موثرترین عوامل اجرا می‌نماید. نهایتاً با شناسایی مهمترین عوامل تاثیرگذار و تعیین سطوح ممکن آنها یک طرح عاملی برای مقایسه سطوح مختلف و تاثیر متقابل موثرترین عوامل بر یکدیگر انجام می‌شود. در این روش به جای تغییر سیستم واقعی، طراحی آزمایش‌ها بر روی مدل شبیه‌سازی شده سیستم انجام می‌گیرد، تا تاثیر عوامل مشخص گردد. به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ کارخانه تولید چراغ اتومبیل طراحی شد و عوامل تاثیرگذار از روش طوفان فکری تعیین گردیدند. عوامل موثر، غربال شده و سه عامل نیروی انسانی، سرعت ماشین آلات و تعداد ایستگاههای کاری به عنوان موثرترین عوامل انتخاب شدند. عوامل تعیین سطح گردیده و طرح عاملی برای مقایسه سطوح عوامل اصلی و تاثیر متقابل آنها بر یکدیگر انجام شد. روش پیاده شده باعث بهبود عملکرد خط مونتاژ کارخانه گردید.

کلمات کلیدی

شبیه‌سازی گسسته-پیشامد، طراحی آزمایش‌ها، حلیل‌واریانس، بالانس خط مونتاژ

۱. مقدمه

روش طراحی آزمایش‌ها کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است. در حقیقت، آزمایش را می‌توان به عنوان بخشی از فرآیند علمی و یکی از روش‌های یادگیری در مورد چگونگی عملکرد فرآیندها یا سیستم‌ها در نظر گرفت. در دنیای مهندسی، طراحی آزمایش‌ها ابزاری مهم جهت بهبود عملکرد یک فرآیند

تاریخ وصول: ۸۹/۹/۱۵

تاریخ تصویب: ۹۰/۴/۵

مهندسان وحید مهدوی اصل، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، vahidmahdaviasl65@gmail.com
دکتر حسن حسینی نسب، دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، hhn@yazduni.ac.ir

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر محمد صابر فلاح نژاد، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، fallahnezhad@yazduni.ac.ir

کمینه کردن تعداد ایستگاههای کاری و بیشینه کردن همواری حجم کار بین و داخل ایستگاههای کاری را مد نظر قرار داده‌اند.^[۸] بلوم و همکارش از یک الگوریتم آگاهانه برای مسئله تخصیص کارها به کارگرهای خط مونتاژ و کارگرها به ایستگاههای کاری استفاده کردند. آنها در تحقیق خود هدف کمینه کردن زمان سیکل کاری را در حالت ثابت و مشخص بودن تعداد ایستگاههای کاری دنبال کردند.^[۹]

ترکیب مدل شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها روش پرکاربردی برای حل مسائلی است که تحت تاثیر عوامل مختلف قرار دارند. ترکیب مدل شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها در زمینه‌های مختلف از قبیل مهندسی شیمی^۳، تکنولوژی پردازش مواد^۴ و مهندسی سازه‌ها^۵ کاربرد دارد.^[۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳] دیسوکی و همکارش از ترکیب مدل شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها برای کمینه کردن هزینه‌های نگهداری ساختمان استفاده کردند.^[۱۰] لانگو و همکارش برای بررسی تاثیر میزان تقاضای مشتری، زمان تحويل و تغییرپذیری تقاضای مشتری بر روی انعطاف‌پذیری زنجیره تامین از شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها بهره برندند.^[۱۱] آخت و همکارانش در زمینه علم مواد، روش شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها را برای پی بردن به تائیر برش خاص به کار برندند.^[۱۲] گاناسگرام و همکارانش شکل یک نوع کربن خاص به کار برندند.^[۱۳] ریجه^۶ از شبیه‌سازی بر مبنای طراحی آزمایش‌ها استفاده کرددند.^[۱۳]

مدل‌های شبیه‌سازی برای فرآیندهای تولیدی بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زیرا در دنیای واقعی هرگونه تغییری در شرایط خط مونتاژ نیازمند هزینه‌های زیاد، زمانبر و باعث توقف خط می‌گردد ولی بعد از مدل کردن سیستم به راحتی و بدون هزینه اضافی مهندس‌ها و کارشناسان می‌توانند تغییرات مدنظر خود را اعمال نمایند. بررسی علمی نظرات و طرح‌ها با استفاده از طراحی آزمایش‌ها و تحلیل واریانس می‌تواند انجام پذیرد. در طراحی آزمایش‌ها عامل‌های تأثیرگذار در سطوح مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند و به همین منظور استفاده از مدل شبیه‌سازی همراه با مدل طراحی آزمایش‌ها برای جلوگیری از تغییر در سیستم واقعی راه حل منطقی و به صرفه‌ای می‌باشد. ولی باید توجه داشت که ساخت و تعیین اعتبار مدل شبیه‌سازی سیستم باستثنی توسط افراد متخصص انجام گیرد، که این کار نیز نیازمند زمان و هزینه است.^[۱۰، ۱۲].

را نشان داد. استفاده از مدل شبیه‌سازی معتبر سبب می‌شود تا مدیران و سایر طراحان که از مدل بهره می‌برند، بتوانند به نتایج حاصل اطمینان کنند.^[۲]

مدلسازی ریاضی مسئله بالانس خط مونتاژ برای خطوط مونتاژ تک منظوره اولین بار توسط سالوسن ارائه گردیده، و از آن زمان تحقیقات زیادی در این موضوع صورت گرفته است. مرور ادبیات مفصلی در این موضوع توسط بکر و اسچول انجام شده است.^[۳] تکنیک‌های مختلفی برای حل مدل‌های بالانس خط مونتاژ توسط افرادی از قبیل ایل، جین، واو، مولن و فرازیر گزارش شده است.^[۳، ۴] در زمینه ترکیب شبیه‌سازی و روش‌های تحلیلی در ادبیات مربوط به مسئله خط مونتاژ تحقیقاتی صورت گرفته است. رویکرد استفاده از مدل شبیه‌سازی همراه با مدل تحلیلی سیستم توسط شاندی کومار و همکارش دسته‌بندی گردیده است. مولن و همکارش از شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها برای مقایسه جواب‌های بالانس خط مونتاژ استفاده کردند. شنگ‌جین یک مطالعه موردي که ترکیب روش شبیه‌سازی و تحلیلی بود، برای طراحی یک خط مونتاژ قطعات الکتریکی که دارای چند مرحله تولید با چند انبار موقت بود انجام داده است.^[۴] آرمندس و همکارانش به منظور تعیین شکل خط مونتاژ با کمترین تعداد ایستگاه‌کاری و بالانس حجم کار بین ایستگاههای مختلف در کارخانه تولید دوربین‌های عکاسی از ترکیب مدل شبیه‌سازی و یک الگوریتم هیوریستیک ترکیبی استفاده کردند.^[۳] کیوو و همکارش از ترکیب شبیه‌سازی و الگوریتم پرندگان برای طراحی خط مونتاژ استفاده کرده و با آزمون‌های آماری نشان دادند که جواب روش آنها بهتر از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پرندگان مرسوم است.^[۵]

در دیگر تحقیقاتی که در زمینه بالانس خط مونتاژ صورت پذیرفته، بیشتر از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل این مسئله استفاده شده است.

کیون‌کیم و همکارانش یک مدل ریاضی و الگوریتم ژنتیک را برای بالانس خط مونتاژ به کار برد و با استفاده از آزمایش‌های عددی کارآیی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی را نشان داده‌اند.^[۶] هورنگیه و همکارش از یک روش ابتکاری دو طرفه^۷ جدید که حاصل ترکیب روش دوطرفه و روش مسیر بحرانی می‌باشد، روشی برای بالانس خط مونتاژ پیشنهاد داده‌اند. آنها از روش مسیر بحرانی که کاربرد زیادی در مدیریت پروژه دارد برای تخصیص کارها و بالانس خط مونتاژ استفاده کرده و سپس یک مثال برای مشخص شدن کارآیی روش ابتکاری ارائه گردیدند.^[۷] آکپینار و همکارش یک الگوریتم ژنتیک برای مسئله بالانس خط مونتاژ با ایستگاههای موازی و محدودیت‌های منطقه‌بندی^۸ ارائه کردند. آنها در مدل خود

^۱ bidirectional heuristic

^۲ zoning

\bar{x}_M = میانگین تعداد محصول نهایی در مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ

$$\frac{\sum_{j=1}^{n_M} x_{jM}}{n_M}$$

S_R = انحراف معیار تعداد محصول نهایی تولید شده در خط مونتاژ واقعی در n_R روز کاری
 S_M = انحراف معیار تعداد محصول نهایی در مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ در n_M اجرا

در این مقاله یک روش ابتکاری برمبنای شبیه‌سازی و طراحی آزمایش‌ها به منظور کمک به مدیران و طراحان خط مونتاژ برای بهبود عملکرد خط مونتاژ ارئه گردیده است. در بخش ۲ گام‌های روش ابتکاری توضیح داده شده است. در بخش ۳ یک مطالعه موردی آورده شده که شامل: اطلاعات خط مونتاژ کارخانه مورد مطالعه، مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ و نحوه تعیین اعتبار آن، طریقه شناسایی و غربال عوامل تاثیرگذار و تجزیه و تحلیل طرح عاملی است. نتایج این تحقیق در بخش ۴ آمده است.

۲. روش ابتکاری

مدیران برای تصمیم‌گیری‌های خود همواره نیازمند ابزارهای کارآمد و قابل اطمینان می‌باشند. در اینجا یک روش نظاممند برای کمک به مدیران خط مونتاژ در بهبود عملکرد سیستم تولید معرفی شده است. در کارخانه‌ها عوامل متعددی بر روی بهروزی تاثیرگذار می‌باشند، که رسیدگی به تمام آنها نیازمند وقت و هزینه فراوان است. با توجه به قانون پارتون عوامل معودی دارای بیشترین تاثیر می‌باشند، از این رو در این روش تمرکز بر شناسایی و بهبود بر روی تاثیرگذارترین عوامل است. الگوریتم روش ابتکاری در شکل ۱ آورده شده است.

گام ۱. طراحی مدل شبیه‌سازی

ابتدا مدل شبیه‌سازی با پیشامدهای گستته خط مونتاژ طراحی گردد. خروجی مدل شبیه‌سازی تعداد محصول نهایی در یک دوره زمانی مشخص در نظر گرفته شود. در صورتی که مدل طراحی شده معتبر باشد باید خروجی مدل شبیه‌سازی با خروجی خط مونتاژ واقعی در یک دوره زمانی مشخص دارای همپوشانی بالایی باشد. اعتبار مدل شبیه‌سازی می‌تواند با آزمون فرض زیر اندازه‌گیری شود.

x_{iR} = تعداد محصول نهایی تولید شده در خط مونتاژ واقعی در روز کاری i ام.

x_{jM} = تعداد محصول نهایی برای ۸ ساعت اجرا مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ در اجرای j ام

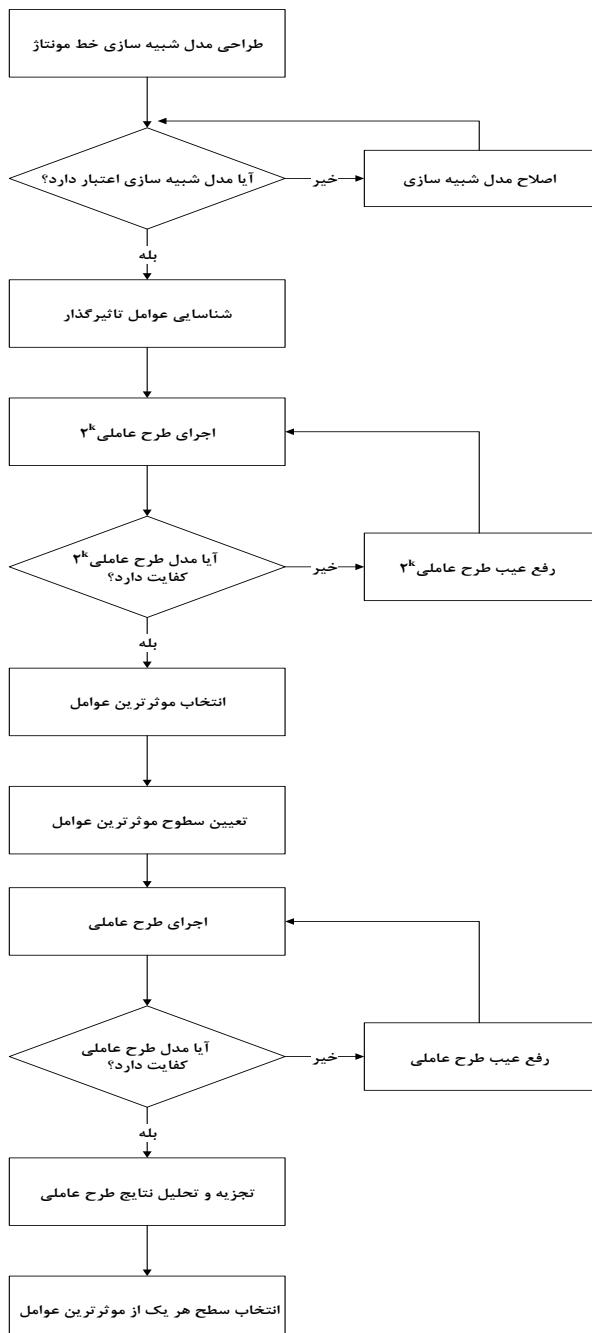
n_R = تعداد روز کاری در نظر گرفته شده از خط مونتاژ واقعی ($n_R \geq 30$)

n_M = تعداد اجراهای مدل شبیه‌سازی ($n_M \geq 30$)

\bar{x}_R = میانگین تعداد محصول نهایی تولید شده در خط مونتاژ

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_R} x_{iR}}{n_R}$$

^۱ در این مقاله هر روز کاری ۸ ساعت در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. فلوچارت گام‌های روش ابتکاری

آمده از گام ۱ اجرا نمائید. در این مرحله عوامل غریال می‌شوند، تا با توجه به قانون پارتو موثرترین آنها انتخاب گرددند. کفایت مدل از طریق تحلیل باقیماندها ارزیابی شود. در صورت رد کفایت مدل طراحی آزمایش‌ها گام فوق بعد از رفع عیب مدل تکرار می‌شود. در غیر این صورت به گام ۴ بروید.

گام ۴. تعیین سطوح موثرترین عوامل

سطوح ممکن موثرترین عوامل انتخاب شده در گام ۳ توسط افراد خبره و کارشناسان خط مونتاژ مشخص گردد. در این مرحله می‌توان چندین سطح نیز برای یک عامل در نظر گرفت. مبنای انتخاب سطوح برای هر یک از موثرترین عوامل باید قابلیت پیاده کردن آن در خط مونتاژ واقعی باشد. مثلاً اگر عامل تعداد ایستگاه‌های کاری به عنوان یکی از موثرترین عوامل انتخاب شد، آنگاه با توجه به شرایط کارخانه، خبرگان و کارشناسان باید تعیین کنند که چند حالت ممکن می‌تواند برای آن در نظر گرفته شود.

گام ۵. اجرای طرح عاملی^۱

مدل طراحی آزمایش‌های عاملی را با در نظر گرفتن تعداد محصول تولید شده به عنوان متغیر پاسخ بر روی مدل شبیه‌سازی بدست آمده از گام ۱ اجرا کنید. طرح‌های عاملی بعنوان موثرترین روش برای بررسی چند عامل در دو یا چند سطح مورد استفاده قرار می‌گیرند.

منتظر از یک طرح عاملی این است که در هر اجرای کامل یا تکرار آزمایش، تمام تکرار ترکیب‌های حاصل از سطوح عوامل مورد نظر بررسی می‌شود. کفایت مدل از طریق تحلیل باقیماندها ارزیابی می‌شود. در صورت رد کفایت مدل طراحی آزمایش‌ها، گام فوق باید بعد از رفع عیب آن تکرار شود. در غیر این صورت به گام ۶ بروید.

گام ۶. تجزیه و تحلیل نتایج طرح عاملی

نتایج حاصل از آنالیز واریانس طرح عاملی گام ۵ تجزیه و تحلیل - گردد. نمودار اثرات اصلی^۲ و متقابل عوامل برای کمک به تحلیل نتایج طرح عاملی رسم شود. اثر اصلی هر یک از موثرترین عوامل و اثر متقابل آنها را با مقایسه متغیر پاسخ نشان دهید. سطح هر یک از عوامل با توجه به سیاست‌های مدیریتی انتخاب گردد.

۳. مطالعه موردي

روش ابتکاری بیان شده در یک کارخانه تولید چراغ اتومبیل به منظور بهبود عملکرد آن اجرا شده است.

فرض صفر $0 = \mu$ را در مقابل فرض یک $0 \neq \mu$ در سطح معنادار $\alpha = 0.05$ آزمون کنید.

با این فرض که متغیر حاصل از اختلاف بین میانگین تعداد محصول نهایی تولید شده در خط مونتاژ واقعی (\bar{X}_R) و میانگین تعداد محصول نهایی در مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ (\bar{X}_M) دارای توزیع نرمال باشد، آماره T دارای توزیع t با درجه آزادی v است [۱۴۲].

$$T = \frac{(\bar{X}_R - \bar{X}_M)}{\sqrt{\left(\frac{S_R^2}{n_R}\right) + \left(\frac{S_M^2}{n_M}\right)}} \quad (1)$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_R^2}{n_R} + \frac{S_M^2}{n_M}\right)^2}{\left(\frac{S_R^2}{n_R}\right)^2 + \left(\frac{S_M^2}{n_M}\right)^2} - 2 \quad (2)$$

اگر دلیلی برای رد فرض صفر وجود نداشت، مدل شبیه‌سازی معتبر است و به گام ۲ بروید. در غیر این صورت مدل باید اصلاح گردد.

گام ۲. شناسایی عوامل تاثیرگذار

در این مرحله فاکتورهایی که از نظر افراد خبره و کارشناسان خط مونتاژ در بهبود عملکرد خط مونتاژ موثر می‌باشند، شناسایی می‌گردد. این کار می‌تواند از طریق طوفان فکری، مصاحبه با افراد خبره و یا دیگر روش‌ها صورت پذیرد. شناسایی تمام عوامل تاثیرگذار در عملکرد خط مونتاژ بسیار مهم است. هر چه عوامل بیشتری در این مرحله در نظر گرفته شود، عملکرد روش ابتکاری بهتر خواهد بود.

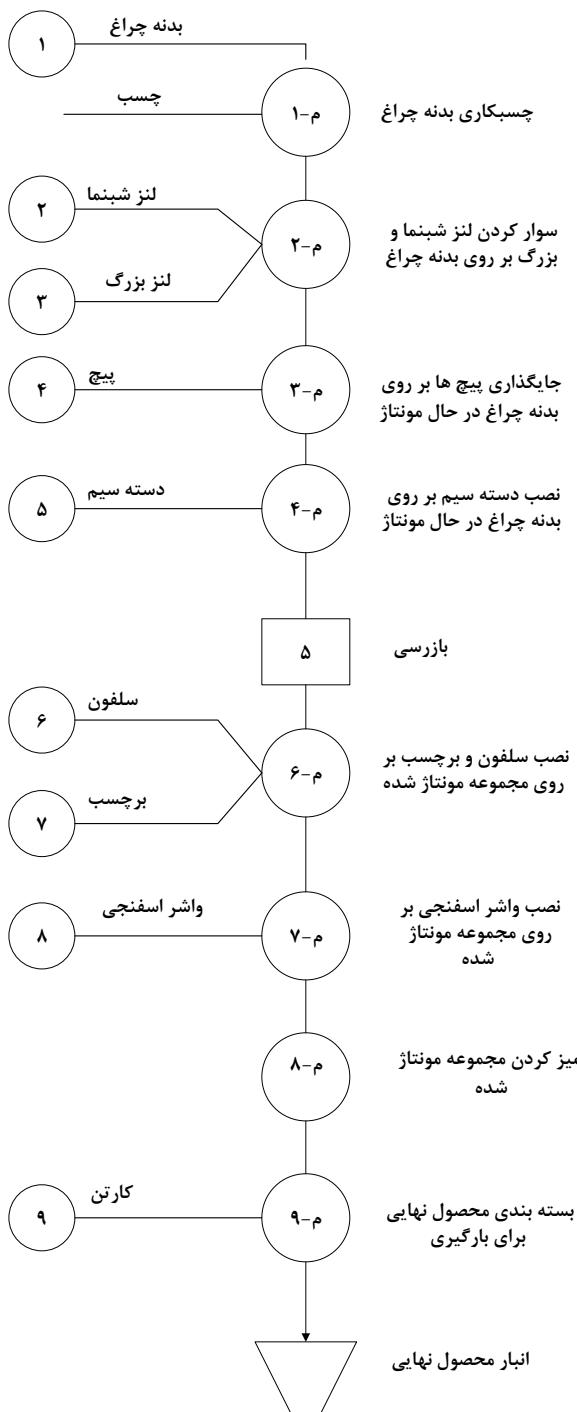
گام ۳. اجرای طرح عاملی^{۲k}

دو سطح برای هر یک از عوامل بدست آمده از گام ۲ در نظر گرفته شود. با توجه به محدوده‌ی امکان‌پذیر هر عامل سعی شود تا دو سطح انتخاب شده بیشترین فاصله را داشته باشند. مثلاً عامل تعداد نیروی انسانی خط مونتاژ در طرح عاملی^{2k} دو سطح حداقل تعداد نیروی انسانی و حداقل تعداد نیروی انسانی در نظر گرفته شود.

طرح عاملی^{2k} را با در نظر گرفتن، تعداد محصول تولید شده در خط مونتاژ به عنوان متغیر پاسخ بر روی مدل شبیه‌سازی بدست

¹ Factorial Design
² Main Effect

شد. واریانس خروجی‌های سیستم واقعی معمولاً بیشتر از مدل شبیه‌سازی است، زیرا در دنیای واقعی عامل‌های اغتشاش^۴ ناشناخته و غیر قابل کنترل وجود دارد[۲]. نتایج آزمون فرض برابری میانگین‌ها در جدول ۱ آمده است.



^۴ Nuisance factors

۱-۳. خط مونتاژ چراغ اتومبیل

کلیه قطعات از انبار تهیه می‌شوند. قطعات چراغ اتومبیل در بین ایستگاه‌ها جابه‌جا شده و در پایان خط مونتاژ محصول نهایی بسته‌بندی می‌گردد. در این خط مونتاژ تعداد محصول نهایی بسته‌بندی شده به عنوان معیار ارزیابی در نظر گرفته شده است. شکل ۲ نحوه مونتاژ چراغ اتومبیل است که ترتیب و توالی اتصال قطعات را نشان می‌دهد. حمل و نقل‌های موجود در داخل ایستگاه‌های کاری و بازرسی‌های چشمی که توسط اپراتور دستگاه‌ها صورت می‌پذیرد، جزئی از فعالیت اصلی در نظر گرفته شده است.

۲-۳. مدل شبیه سازی خط مونتاژ

قبل از مدل‌سازی خط مونتاژ کارخانه تولید چراغ اتومبیل مدل مفهومی آن به منظور توازن میان توسعه‌دهنده‌گان مدل شبیه‌سازی و استفاده‌کننده‌گان از آن مبنی بر این که شبیه‌سازی چه کاری را انجام خواهد داد، طراحی گردید. برای مدل کردن سیستم از نرم افزار Arena 9 استفاده شده، که یک نرم افزار تخصصی برای شبیه سازی است. توزیع احتمال فعالیتها با استفاده از داده‌های گردآوری شده از خط مونتاژ بدست آمد. برای تعیین توزیع احتمال و پارامترهای آن از ابزار Input Analyzer نرم افزار Arena 9 استفاده شده است(شکل ۳). مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ با توجه به ترتیب انجام عملیات‌ها در نرم افزار Arena 9 طراحی شد. چراغ اتومبیل به عنوان نهاد^۱ در نظر گرفته شد. در مدل‌سازی از مارژول‌های Match و Batch به صورت ترکیبی در قسمت‌هایی که نیاز به مونتاژ دو یا چند قطعه بر روی هم بود استفاده شد. نمای کلی از منطق مدل شبیه‌سازی در شکل ۴ آورده شده است.

مدل شبیه سازی مورد بازبینی^۲ قرار گرفت و برای اشکال زدایی آن از اینیمیشن استفاده شد. اینیمیشن تصویری از طریقی کارکردن مدل شبیه‌سازی می‌دهد. نرم افزار Arena 9 با عبور دادن نهادها به صورت اینیمیشن در مدل شبیه سازی منطق حاکم بر مدل را نشان می‌دهد.

با مقایسه طریقه گردش نهادها در مدل شبیه‌سازی با خط مونتاژ واقعی خطاهای منطقی مدل رفع گردید. بعد از بازبینی مدل شبیه سازی اعتبار آن ارزیابی شد. اعتبار سنجی^۳ روندی است که مشخص می‌کند؛ آیا مدل شبیه سازی بوجود آمده بازتاب دهنده سیستم واقعی تحت مطالعه می‌باشد یا خیر. اعتبار مدل شبیه‌سازی خط مونتاژ با روش آماری بیان شده در بخش ۲ بررسی

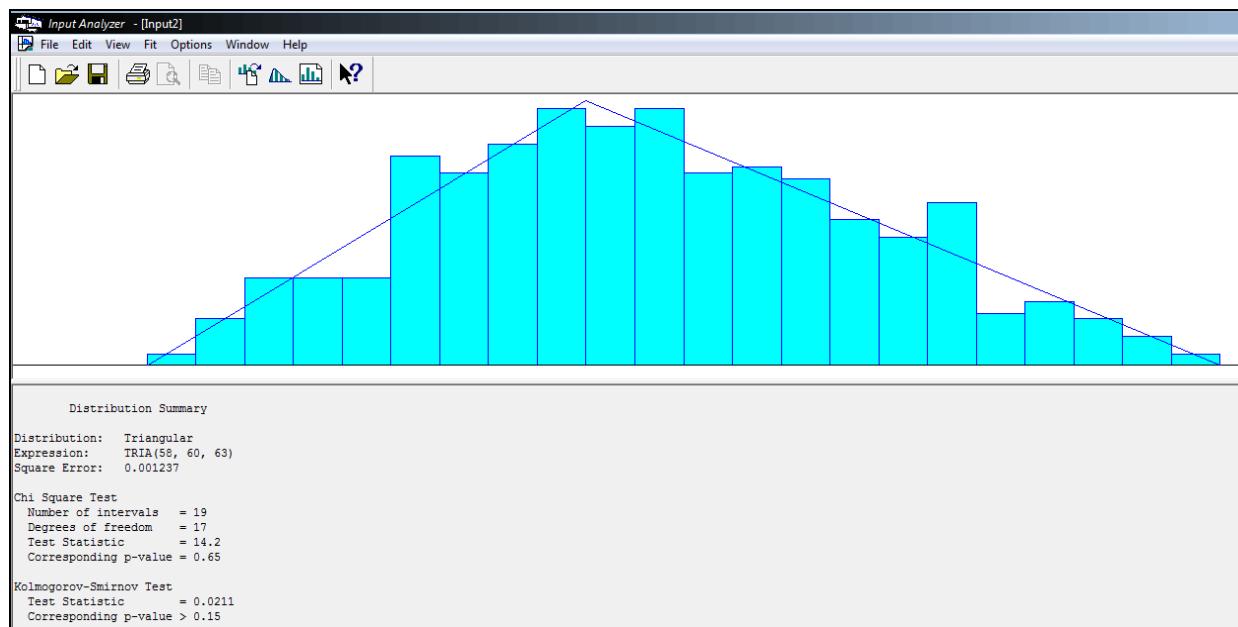
¹ Entity

² Verification

³ Validation

جدول ۱. بررسی تعیین اعتبار مدل شبیه سازی با آزمون فرض برابر میانگین ها

p-value	α	γ	T	تعداد تکرار	انحراف معیار تعداد محصول نهایی	میانگین تعداد محصول نهایی			
				n_M	n_R	S_M	S_R	\bar{X}_M	\bar{X}_R
.011	.005	118	-1/62	100	100	2/99	9/43	475/40	473/80



شکل ۳. تعیین توزیع فعالیت مونتاژ لنز شبینما

در پایان جلسه انتخاب شدند، که تمام آنها در یک طرح عاملی^۲ مورد بررسی قرار گرفتند.

۳-۴. طراحی آزمایش ها

در اغلب آزمایش ها مطالعه دو یا چند عامل مورد نظر است. طرح های عاملی بعنوان موثرترین روش برای چنین آزمایش هایی محسوب می شوند. کارآیی طرح های عاملی در مقایسه با طرح های یک عاملی به مراتب بیشتر می باشد. همچنین اگر اثر متقابل وجود داشته باشد آنگاه استفاده از طرح عاملی با هدف اجتناب از نتیجه گیری گمراهنده ضروری است. اثر متقابل یعنی اثر یک عامل بر متغیر پاسخ ثابت نیست بلکه به سطح متغیرهای دیگر بستگی دارد. از طرف دیگر طرح های عاملی امکان برآورده اثرات یک عامل را به ازای سطوح مختلف عامل های دیگر فراهم می سازد، که باعث اعتبار نتایج آزمایش می گردد [۱].

طرح عاملی^۳ اجرا شد و ۱۲ عامل شناسایی شده در جلسه طوفان فکری غربال گردیدند، تا مهمترین آنها انتخاب شود. سه عامل اصلی زیر به عنوان موثرترین عوامل استخراج گردیدند:

۱. تعداد نیروی انسانی
۲. سرعت ماشین آلات
۳. تعداد ایستگاه های کاری

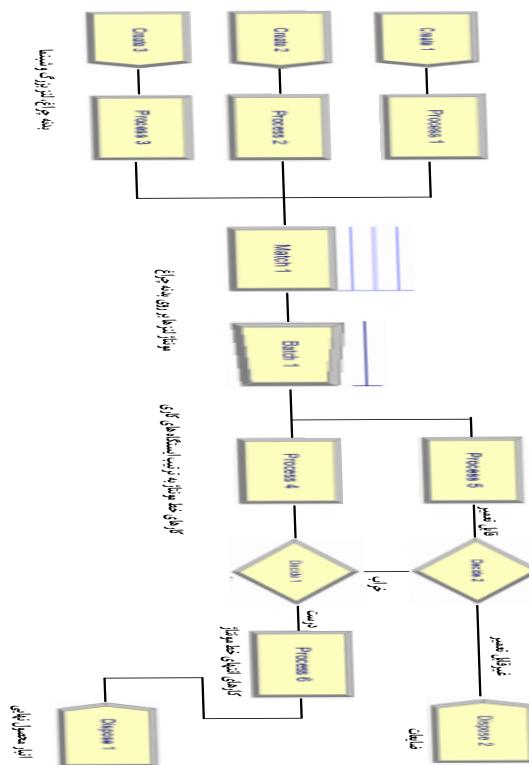
طبق اطلاعات ارائه شده در جدول ۱ تفاوت معناداری بین میانگین تعداد محصول نهایی تولید شده در خط مونتاژ واقعی با میانگین تعداد محصول نهایی مدل شبیه سازی خط مونتاژ وجود ندارد. یکی از مهمترین موارد استفاده از شبیه سازی، مقایسه طرح های مختلف از سیستم و یا بررسی رفتار آن در محدوده شرایط جدید است. در صورتی که مدل های جدید با ایجاد اصلاحاتی از قبیل تغییر در مقادیر عددی پارامترها یا تعداد خدمت دهنده ها بدون تغییر در نوع توزیع آماری باشد، انتقال اعتبار مدل موجه است [۲]. برای هریک از تیمارهای مدل های طراحی آزمایش ها که در ادامه بیان خواهند شد، یک مدل با تغییر در پارامترهای مدل شبیه سازی سیستم ایجاد گردید. در این مطالعه مدل های طراحی آزمایش ها بر روی مدل شبیه سازی سیستم اجرا شدند.

۳-۳. شناسایی عوامل تاثیرگذار

برای شناسایی تمام عوامل تاثیرگذار بر عملکرد خط مونتاژ کارخانه طوفان فکری با حضور همه مديران و سرپرست های خط برگزار شد. طوفان فکری روشنی است که برای تولید تعداد زیادی ایده در مورد یک مسئله به کار می رود. ۱۲ عامل تاثیرگذار

مثلا در مورد تعداد ایستگاه‌های کاری با توجه به فضای موجود در کارخانه و ماهیت فعالیتها دو سطح ۵ و ۶ ایستگاه کاری انتخاب شد.

با توجه به تعداد سطوح انتخاب شده در طرح عاملی ۱۲ تیمار ایجاد گشت. با فرض ثابت ماندن توزیع فعالیتها، پارامترهای جدید توزیع مشخص شده و تغییرات مورد نیاز بر روی مدل شبیه‌سازی اعمال شد و برای هر تیمار یک مدل شبیه‌سازی بدست آمد. مدل‌های شبیه‌سازی بدست آمده برای هر تیمار ۱۰ بار اجرا گشت و خروجی‌های آن در جدول طراحی آزمایش‌های عاملی نرم افزار Minitab 14 برای تحلیل وارد شد (جدول ۲). در این مدل طراحی آزمایش‌ها تعداد محصول نهایی به عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شد. ستون اول جدول ۲ ترتیب انجام آزمایش‌ها را از ۱ تا ۱۲۰ نشان می‌دهد که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. ستون دوم مشخص کننده بلوک‌ها می‌باشد، چون در مدل شبیه‌سازی عامل تاثیرگذار شناخته شده و قابل کنترلی که بر روی متغیر پاسخ تاثیرگذار باشد وجود نداشت، تنها یک بلوک در نظر گرفته شده است. ستون سوم جدول شامل اعداد ۱، ۲ و ۳ است که این اعداد به ترتیب سطوح تعداد نیروی انسانی ۱۵، ۲۰ و ۲۳ نفر را نشان می‌دهند. ستون چهارم جدول معرف سرعت ماشین آلات، یعنی ۱ معادل سرعت استاندارد ماشین آلات و ۲ معادل حداقل سرعت ماشین آلات می‌باشد. ستون پنجم جدول تعداد ایستگاه‌های کاری، یعنی ۱ معادل ۵ ایستگاه و ۲ معادل ۶ ایستگاه است. ستون آخر نیز تعداد محصول نهایی تولید شده در هر اجرا یا همان خروجی مدل شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمای کلی از منطق مدل شبیه‌سازی

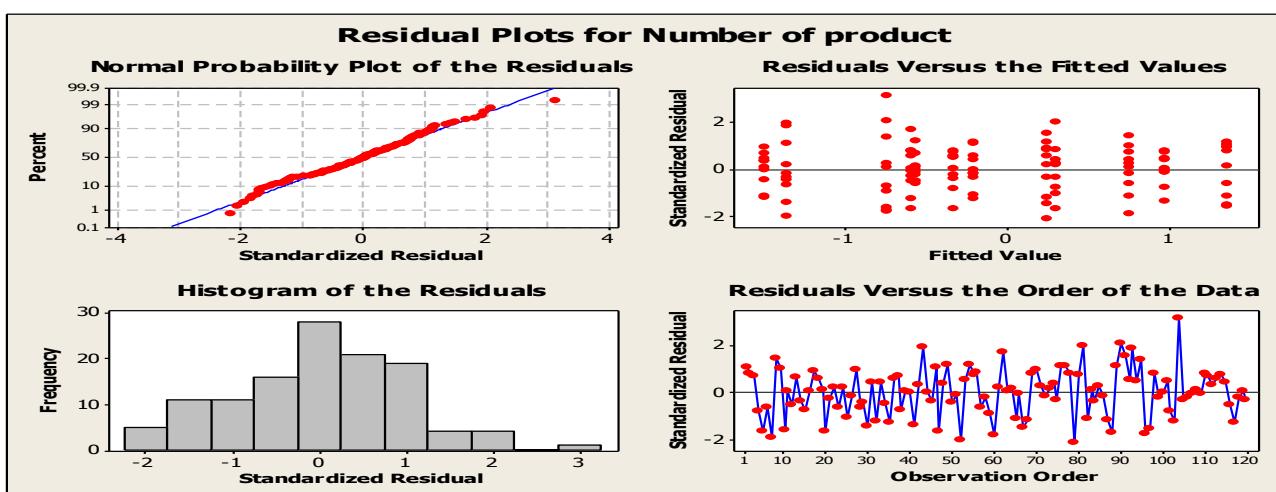
برای اجرای طرح عاملی بر روی عوامل ذکر شده تعداد سطوح ممکن آنها با نظر مدیران و سرپرستان خط مونتاژ انتخاب گردید. عامل نیروی انسانی در ۳ سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۳، سرعت ماشین آلات در ۲ سطح سرعت استاندارد و حداقل سرعت و تعداد ایستگاه‌های کاری در ۲ سطح ۵ و ۶ ایستگاه کاری در نظر گرفته شد. برای انتخاب سطوح ممکن هر یک از این عوامل مدیران و سرپرستان خط شرایط کارخانه را در نظر گرفته‌اند.

جدول ۲. قسمتی از جدول طرح عاملی با ۳ عامل در نرم افزار Minitab 14

Std Order	Blocks	A(Operators)	B(Machines)	C(Work Stations)	Number of product
73	1	1	1	2	487
77	1	2	1	1	563
29	1	3	1	3	564
101	1	2	1	۳	563
.
.
.

جدول ۲. تحلیل واریانس برای طرح ۳ عاملی

Analysis of Variance for Number of product, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
operators	2	364039	364039	182019	340694.63	0.000
machines	1	42000	42000	42000	78613.91	0.000
work stations	1	138924	138924	138924	260031.20	0.000
operators*machines	2	5427	5427	2713	5078.54	0.000
operators*work stations	2	56614	56614	28307	52983.31	0.000
machines*work stations	1	1548	1548	1548	2897.49	0.000
operators*machines*work stations	2	3544	3544	1772	3317.04	0.000
Error	108	58	58	1	-	-



شکل ۵. نمودارهای باقیمانده ها

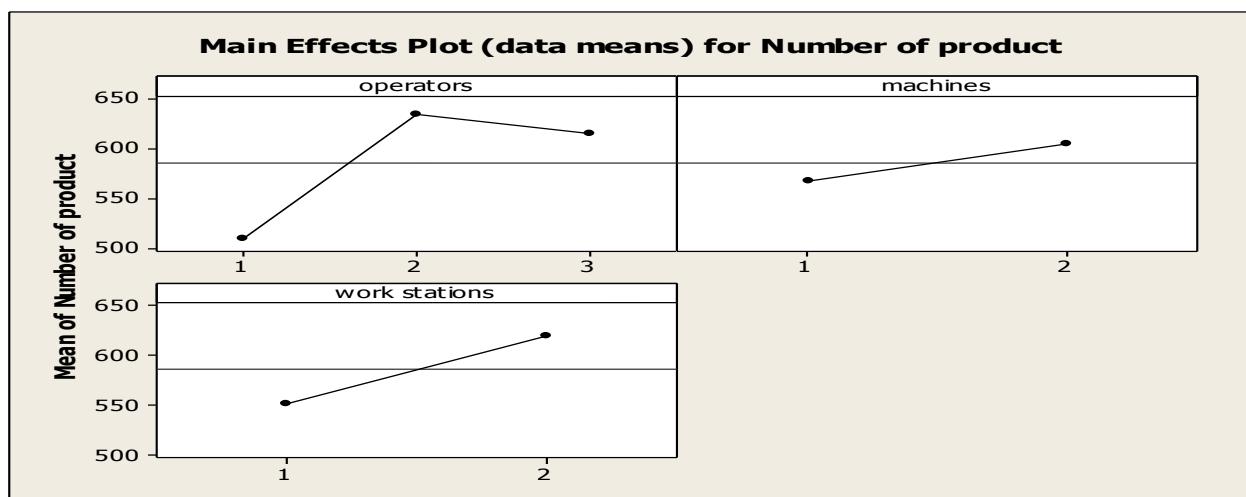
روی تعداد محصول نهایی تولید شده تاثیر دارند، همچنین اثرات متقابل این عامل‌ها نیز بر روی متغیر پاسخ تاثیرگذار است. به منظور کمک به تفسیر این آزمایش نمودارهای اثرات اصلی و متقابل برای تمام تیمارها رسم شد.

شکل ۶ نشان می‌دهد که متغیرهای تعداد ایستگاه کاری و سرعت ماشین آلات دارای اثر مثبت می‌باشند. به عبارت دیگر با تغییر سطح تعداد ایستگاه‌های کاری از ۵ ایستگاه به ۶ ایستگاه و یا سرعت ماشین آلات از استاندارد به حداقل سرعت میانگین تعداد محصول تولید شده افزایش می‌یابد. در مورد متغیر تعداد نیروی انسانی که دارای سه سطح است با تغییر این عامل از ۱۵ نفر به ۲۰ نفر متوسط تعداد محصول تولید شده افزایش می‌یابد، ولی در تغییر از ۲۰ به ۲۳ نفر میانگین تعداد محصول تولید شده تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

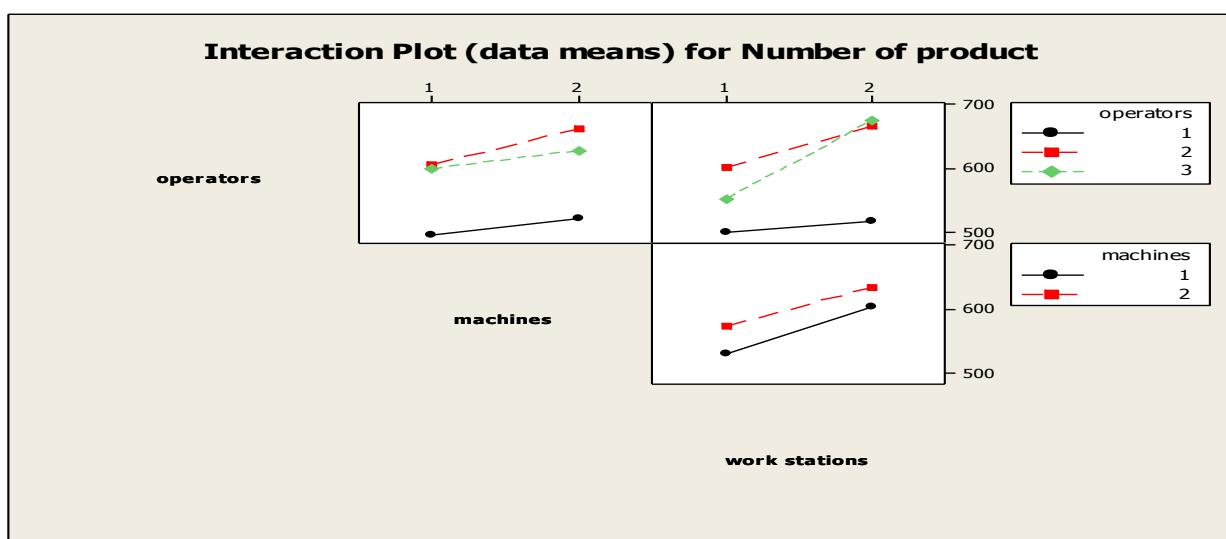
برای ارزیابی کفایت مدل طراحی آزمایش‌ها از تحلیل باقیمانده‌ها استفاده گردید (شکل ۵). تست کولموگروف- اسمیرنوف در سطح معنادار $\alpha=0.05$ نرمال بودن باقی مانده‌ها را تائید کرد. اولین نمودار در سمت چپ، نرمال بودن باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد. واریانس باقیمانده‌ها نیز دارای تغییرپذیری زیاد نمی‌باشد. نمودار باقیمانده‌ها بر حسب تعداد نیروی انسانی، سرعت ماشین آلات و تعداد ایستگاه‌کاری نیز رسم گردید، که عدم برابری واریانس‌ها در آنها دیده نشد.

۴-۳. تجزیه و تحلیل نتایج طرح عاملی

تحلیل واریانس انجام شده بر روی خروجی‌های مدل‌های شبیه‌سازی در جدول ۲ آمده است. همانگونه که در جدول تحلیل واریانس مشاهده می‌گردد، هر سه عامل تعداد نیروی انسانی، سرعت ماشین آلات و تعداد ایستگاه‌های کاری به طور معناداری بر



شکل ۶ نمودارهای اثرات اصلی عوامل



شکل ۷. نمودارهای اثرات متقابل عوامل

و طراحی آزمایش‌ها برای تجزیه و تحلیل خط مونتاژ استفاده می‌کند.

این روش تمام عواملی را که احتمالاً موجب بهبود در عملکرد سیستم خواهند شد، در نظر می‌گیرد. سپس موثرترین عوامل را انتخاب کرده با تغییر بر روی آنها سبب بهبود در عملکرد خط مونتاژ می‌شود. از مزایا این روش می‌توان به عدم نیاز به توقف و تغییر در خط مونتاژ را نام برد، همچنین هزینه‌های اجرا این روش در مقابل تغییر در خط مونتاژ واقعی کمتر می‌باشد. نتایج بدست آمده از این روش با توجه به اعتبارسنجی آن از طریق روش‌های آماری قابل اطمینان است. مطالعه موردی صورت گرفته در کارخانه تولید چراغ اتوبیل کارایی این روش را در ایجاد بهبود در عملکرد خط مونتاژ نشان داد. روش بیان شده می‌تواند به عنوان یک ابزار بهبود عملکرد قوی در تصمیمات مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[۱] مونتگومری، داگلاس سی؛ ترجمه نورستا، رسول؛ «طراحی و تحلیل آزمایش‌ها»، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، جلد ۱، صفحه ۱۳۸۶، ۳۸۵-۳۷۱ و ۳۱۷-۲۹۹، ۱۵-۱۲.

[۲] بنکس، جرج؛ کارسن، جان؛ ترجمه محلوچی، هاشم؛ «شیوه‌سازی سیستمهای گستته-پیشامد»، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، صفحه ۶۱۳-۱۵، ۵۴۴-۵۱۵، ۴۵۰-۴۴۹ و ۶۵۸.

[۳] ایوزیان، مجید، واقفی، ابوالفضل، اسماعیلی، حمید، «مبانی احتمالات و آمار مهندسی»، انتشارات ترمد، جلد ۲، صفحه ۲۸۳-۲۸۲، ۱۳۸۶.

شکل ۷ اثر متقابل عوامل‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. قسمت اول (بالا سمت چپ شکل ۷) اثر متقابل عوامل‌های سرعت ماشین آلات و تعداد اپراتورها مشاهده می‌گردد، در سطح سرعت زیاد ماشین آلات و ۲۰ نیروی انسانی تعداد محصول تولید شده در بالاترین سطح این قسمت قرار دارد. قسمت دوم (بالا سمت راست شکل ۷) ترکیب دو عامل تعداد نیروی انسانی و تعداد ایستگاه-کاری را نشان می‌دهد، در این قسمت ترکیب ۶ ایستگاه کاری با سطوح ۲۰ و ۲۳ نفر نیروی انسانی تقریباً به طور مشترک دارای بالاترین سقف تولید محصول نهایی هستند.

قسمت سوم اثر متقابل تعداد ایستگاه‌های کاری و سرعت ماشین آلات را نشان می‌دهد، از این قسمت برداشت می‌گردد که ترکیب ۶ ایستگاه کاری با سرعت زیاد در این قسمت بالاترین سطح محصول تولید شده را نتیجه می‌دهد. از آنجایی که کارخانه در نظر دارد در افق برنامه ریزی حداقل تولید را داشته باشد. با توجه به نتایج آنالیز واریانس، متغیرهای تعداد ایستگاه کاری و سرعت ماشین آلات به ترتیب در سطح ۶ و حداقل سرعت و متغیر تعداد نیروی انسانی نیز در سطح ۲۰ نفر انتخاب گردید. با توجه به خروجی مدل‌های شبیه‌سازی، با به کار بدن نتایج به دست آمده تولید کارخانه از روزانه ۴۷۶ محصول نهایی به طور متوسط به روزانه ۶۸۰ محصول نهایی به طور متوسط افزایش پیدا خواهد کرد. این افزایش در میزان تولید نشان دهنده کارایی روش معرفی شده است.

۴. نتیجه گیری

در دنیای واقعی عوامل متعددی بر روی عملکرد خط مونتاژ تاثیرگذارند، که رسیدگی به همه‌ی آنها نیازمند زمان و هزینه بسیار است. روش ابتکاری معرفی شده از ترکیب مدل شبیه سازی

- [3] Mendes, A.R., Ramos, A.L., Simaria, A.S., "Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing a PC Camera Assembly Line", *Computers & Industrial Engineering*, No. 49, 2005, pp. 413–431.
- [4] Hsieh, S.J., "Hybrid Analytic and Simulation Models for Assembly Line Design and Production Planning", *Simulation Modelling Practice and Theory*, No. 10, 2002, pp. 87–108.
- [5] Kuo, R.J., Yang, C.Y., "Simulation Optimization using Particle Swarm Optimization Algorithm with Application to Assembly Line Design", *Applied Soft Computing*, No. 11, 2009, pp. 605–613.
- [6] Kim, Y.K., Song, W.S., Kim, J.H., "A Mathematical Model and a Genetic Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing", *Computers & Operations Research* No. 36, 2007, pp. 853 – 865.
- [7] Yeh, D.H., Kao, H.H., "A New Bidirectional Heuristic for the Assembly Line Balancing Problem. *Computers & Industrial Engineering*", No. 57, 2009, pp. 1155–1160.
- [8] Akpinar, S., Bayhan, G.M., "A Hybrid Genetic Algorithm for Mixed Model Assembly Line Balancing Problem with Parallel Workstations and Zoning Constraints", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, No. 52, 2010, pp. 754- 763.
- [9] Blum, C., Miralles, C., "On Solving the Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem Via Beam Search", *Computers & Operations Research*, No. 38, 2010, pp. 328–339.
- [10] Dessouky, Y.M., Bayer, A., "A Simulation and Design of Experiments Modeling Approach to Minimize Building Maintenance", *Computers & Industrial Engineering*, No. 43, 2002, pp. 423-436.
- [11] Longo, F., Mirabelli, G., "An Advanced Supply Chain Management Tool Based on Modeling and Simulation", *Computers & Industrial Engineering*, No. 54, 2007, pp. 570–588.
- [12] Acht, C., Lubben, T., Hoffmann, F., Zoch, H.Z., "Simulation of the Influence of Carbon Profile and Dimensions on Distortion Behaviour of SAE 5120 Discs by using a Design of Experiment", *Computational Materials Science*, No. 39, 2007, pp. 527–532.
- [13] Gunasegaram, D.R., Farnsworth, D.J., Nguyen, T.T., "Identification of Critical Factors Affecting Shrinkage Porosity in Permanent Mold Casting using Numerical Simulations Based on Design of Experiments", *Journal of materials processing technology*, No. 209, 2009, pp. 1209–1219.

